論　文

不確実性下における研究開発投資のマクロ経済モデル（Ⅰ）*

— Reinganum モデルのマクロ経済への応用 —

秋　本　耕　二

1．はじめに

本稿は，寡占市場における企業の研究開発投資を分析した Reinganum [1981] に注目する．Reinganum [1981] のモデルは，特許保護下において競合する2つの企業をプレイヤーとする微分ゲームであるが，モデルの設定状況を変更してこれをマクロ経済に応用すれば，経済主体をプレイヤーとするマクロ経済のゲーム・モデルを構成することができる．そこで，ここでは Reinganum のモデルをマクロ経済に応用し，マクロ経済における研究開発投資の促進について考察する．ただし，提示されるモデルは Reinganum [1981] であり，新たなモデルは加えられていない．分析方法も Reinganum [1981] による．本稿が寄与する点は，Reinganum [1981] のマクロ経済への応用の可能性とそのマクロ経済構造を示すこと，およびこれを分析して研究開発投資を促進するためのマクロ経済構造を示すことにある．

* 本稿は Reinganum[1981]を考察した秋本[2001]第1章第4節を，マクロ経済に応用するために，大幅に修正および加筆して作成したものである．モデルの構成（第3章）および分析（第4章）において秋本[2001]と多くの点で記述が一致するが，マクロ経済モデルを構成・分析する上で省略できないので，これらを修正，加筆した上で再掲する．

マクロ経済におけるマネーの流れの多様性は，研究開発投資への資金の還流にも大きな影響を与えている．秋本[2002]，[2003a] および [2003b] ではマクロ経済におけるマネーの還流の多様性に注目し，いくつかのマクロ経済モデルを構成して，研究開発投資を促進するためのマクロ経済構造について考察した．これらのモデルは，GDP を受け取る家計と，家計の貯蓄を受け取り，これを生産や研究開発に投資する投資家をプレイヤーとする微分ゲームとして構成されている．ただし，ここで注意したい点は，ゲームが有限期間で構成されているという点である．すなわち，有限期間のゲームであるために，最適化問題の要請により，計画終了時間における研究開発投資（あるいは知識）の限界効率はゼロでなくてはならない．このとき，投資家は計画終了時間にいたるある一定期間において研究開発投資をゼロにする．秋本[2002]，[2003a] および [2003b] は基本的にこの研究開発投資ゼロの期間を比較分析することを目的としていた．

これに対し，Reinganum [1981] は同じ有限期間の微分ゲームであるにもかかわらず，計画終了時間における企業の研究開発投資はゼロではなく，むしろ計画終了時間に向かって研究開発投資は増加する．もちろん，Reinganum [1981] はマクロ経済モデルではないが，Reinganum [1981] がマクロ経済に応用可能であるとすれば，Reinganum [1981] と秋本[2002] の比較分析が必要となろう．本稿は，このような問題意識のもとに Reinganum [1981] を改良し，これを分析して，研究開発を促進するためのマクロ経済構造について考察する．

2．モデルの背景（マクロ経済の構図）

まず，モデルの基礎となるマクロ経済の基本構造を簡単に図解しよう．図 1 に示すように，秋本[2002] と同様に GDP はすべて家計に分配されるものとする．GDP を受け取った家計は一部を消費し，残りを貯蓄する．ここで問題とされる

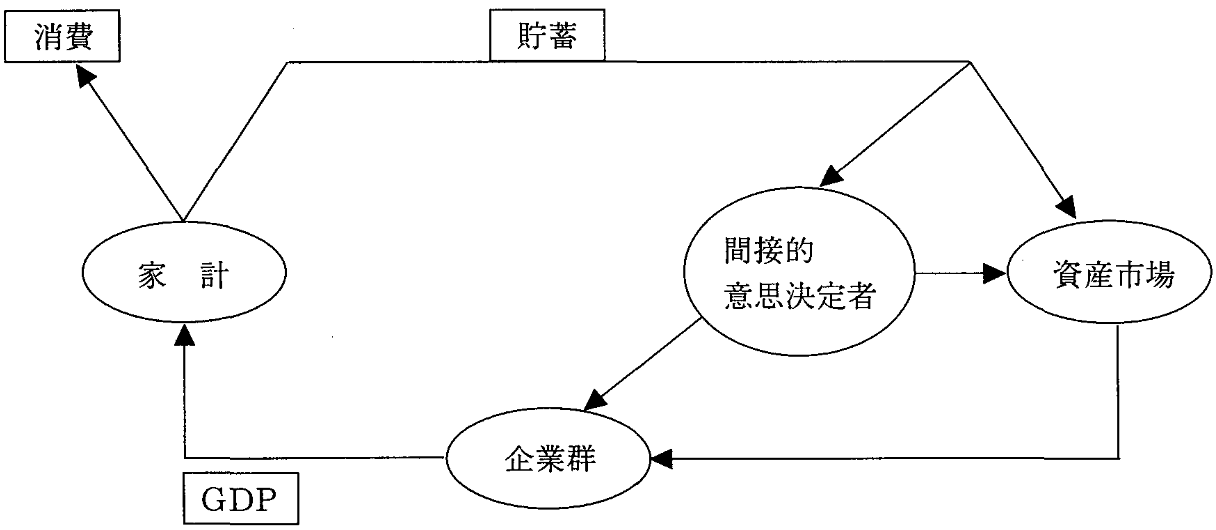
のはこの貯蓄の還流である.

貯蓄の一部分は預金などの形で金融機関など（以下，これを間接的意思決定者とよぶ）に渡される．間接的意思決定者は，これらの資金を企業に投資するかあるいは資産市場で運用する．間接的意思決定者の企業への投資は間接投資である．一方，家計自身が資産市場を通じて企業の株式や社債を購入する直接金融のルートが存在する．

企業に投資されたこれらの資金は生産に寄与するかもしれないし，研究開発に投資されるかもしれない．たとえば，投資対象がベンチャー企業であれば，資金の多くは研究開発に投資されよう．そこで，ここではこれらのルートを通して研究開発に投資されるマネーに注目する．

次に，Reinganum [1981] のマクロ経済への応用を試みる．そのために，図1より分析の対象となる部分を抽出し，これを用いて微分ゲームを構成する．まず，GDPを受け取る家計と間接金融を担う間接的意思決定者をプレイヤーに設定する．ただし，貯蓄の一定部分は預金などとして間接的意思決定者に還流するもの

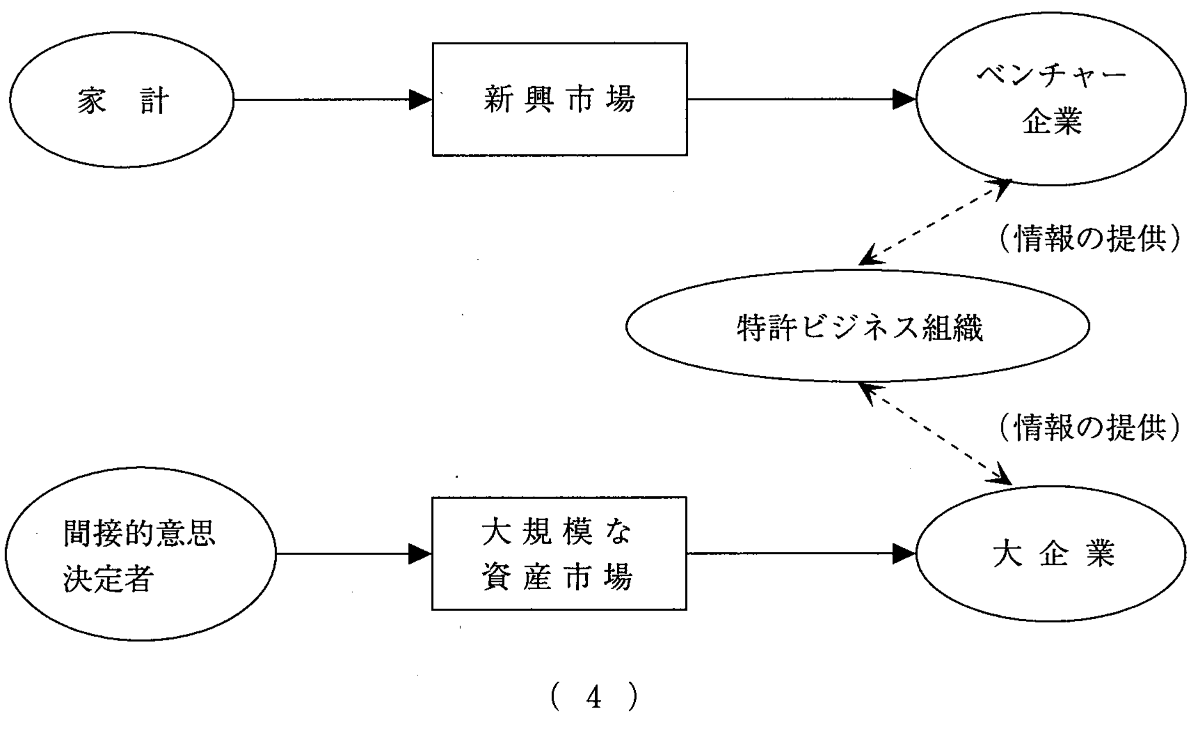
図1　マクロ経済の基本構造



とする．そして，図1における貯蓄の流れに焦点を定め，図2に示すような構造を想定する．GDP の一定部分をすでに間接的意思決定に渡している家計は残りのマネーを資産市場を通じて企業に直接投資する．ただし，ここでは金融機関などの機関投資家が大規模な資産市場（たとえば，東証一部等）において大企業に対し実行する投資とその他の投資家が実行する投資を鮮明に区別するために，家計は大規模な市場ではなく新興市場（たとえば，マザーズ，ジャスダック，ヘラクレス等）を通してベンチャー企業等に投資し，間接的意思決定者が大規模市場において大企業に投資を行うものとする．この構図が図2に示されている．前述のように，投資は生産に回るマネーを含むが，ここでは研究開発への投資に注目する．

図2には特許ビジネス組織が書きこまれている．具体的には，特許ビジネス企業を想定すればよい．従来，研究開発は，巨額の資金を持ち，研究開発の成果を蓄積された知識により製品化し，これを既存の販売ルートを用いて市場に提供することができる大企業により促進されてきた．もちろん，現在においてもこのよ

図2　研究開発への投資の模式図



うな状況に変わりはないのであるが，近年の研究開発の特徴の1つとして，膨大な研究開発費用に耐えかねた大企業が，新たな研究開発情報を外部に求めている点をあげることができよう．このような状況は，大企業どうしが技術提携する企業戦略でも確認することができる．そして，看過できないのは，大企業がベンチャー企業の研究開発力に強い関心を持ち，情報探査を行っている点である．たとえば，大企業が大学発のベンチャー企業と連携している状況を考えればよい．

このような大企業の戦略は，脆弱な経営基盤の上に立つベンチャー企業にとっても，重要である．すなわち，研究開発された知識が，他社に無為に漏洩することなく，有効に収益化されることがベンチャー企業の生き残りを左右する．そして，技術革新により発展を促進されるマクロ経済にとっては，研究開発された知識をあるシステムの中で有効に流通させることが不可欠となる．

前述の特許ビジネス企業は，ベンチャー企業などで研究開発された技術や製品に関する情報を大企業などに提供している．図2の特許ビジネス組織は，この特許ビジネス企業のような民間組織でもよいし，産官学の連携を促進するような公的機関あるいは情報提供を仲介する公的システムを想定してもよい．ここでは，特許ビジネス組織は，研究開発に関する情報をベンチャー企業と大企業の間で仲介する機能を果たすと考える．このシステムは今から提示する3つのゲームのうち，協力ゲームの文脈で使用する．

3．Reinganum のマクロ経済モデル

3.1　モデルの基礎

図2を参考にしながらゲームを組み立てよう．ゲームのプレイヤーは家計と間接的意思決定者である．ここでは，家計および間接的意思決定者をそれぞれプレイヤー1，プレイヤー2ともよぶ．家計および間接的意思決定者は各資産市場を

通してそれぞれベンチャー企業（以下，これらをまとめて企業群1とよぶ）および大企業（以下，これをまとめて企業群2とよぶ）に投資する．

この場合，モデル設計の上では，各企業群からそれぞれ1つの企業を抽出し，これらの企業をプレイヤーとするゲームを構成した方が望ましいかもしれない．しかし，ここでは，研究開発を促進するためのマクロ経済の構造分析に関心があるので，視野を巨視的な次元に据え，各企業群を1つの集合体と考える．そして，企業群1に属する企業と企業群2に属する企業の競争の構図が，総合的にマクロ経済における企業群1と企業群2の競争の構図を形成しているものと考え，各企業群を1つの経済主体ととらえる．たとえば，ある企業の成功はこの企業が属する企業群の成功と考える．そして，企業群1 vs 企業群2（すなわち，ベンチャー企業群 vs 大企業），あるいは新興市場 vs 大規模資産市場という構図を強調する．

これらの企業群は現実的にはさまざまな研究開発に参加しているが，ここではある1つの研究開発に注目し，各企業群がこの研究開発に関し競合しているものとする．そして，最初に研究開発に成功した企業群は，特許に保護されて，収益力を向上させるものとする[1)]．この収益力の向上は市場により評価され，当該企業群の株価は上昇する．この株価上昇あるいは配当の増加などにより，各プレイヤー（すなわち，家計あるいは間接的意思決定者）は時間 t において利得 $V(=V(t))$ を獲得するものとする．一方，ライバル企業群に研究開発の成功を先んじられた企業群はこの研究開発投資からは何の収益も得られず，したがって，当該企業群に投資したプレイヤーの利得もゼロとなる．

研究開発競争が開始する時間を時間0とする．そして，競争開始後，この研究開発による技術革新が特許を取得するほど革新的ではなくなる時間を時間 T とする．すなわち，ここで考察する研究開発の周辺でも常に技術革新が進行してお

1）実際には，研究開発に成功した個別の企業が特許を獲得し，収益力を向上されるが，ここではこれをマクロ経済的に眺め，当該企業群の収益力の向上と考える．

り，ここでの研究開発は時間 T には社会的にも経済的にも意味がなくなるものとする．したがって，この競争は期間 $[0, T]$ で行われるものとする．もち論，この研究開発には不確実性がある．そこで，不確実性を記述するためにポアッソン過程を採用する．すなわち，企業群 i が時間 $t\,(\in(0, T])$ までに研究開発に関する知識 $z_i(t)$ を蓄積したとき，企業 i が時間 t までに研究開発に成功する確率は，

$$P(\tau_i \leq t) = 1 - e^{-\lambda z_i(t)} \qquad (i=1,2) \qquad (1)$$

で表されるものとする．ただし，τ_i は企業群 i が研究開発に成功する時間を表す確率変数であり，λ は正の定数である．

このような状況の中で，家計および間接的意思決定者は各企業群への投資に関する意思決定を行わなくてはならない．ただし，ここでは簡単化のため，コントロール変数に関し以下の仮定をおく．

仮定　研究開発への投資額と研究開発の知識の量は一定の関係を持つものとする．そして，家計および間接的意思決定者は，投資額のコントロールにより，研究開発の知識の量を制御することができるものとする．

この仮定により，われわれは，家計および間接的意思決定者のコントロール変数として，研究開発への投資額に代わり，研究開発の知識量を採用する．したがって，家計および間接的意思決定者は，時間 t において知識の蓄積 $z_i(t)$ の増加に関する意思決定を行なわなくてはならない．そこで，プレイヤー i（家計あるいは間接的意思決定者）が時間 t に選択する知識の増加率を $\mu_i(t)$ で表す．すなわち，

$$\begin{cases} \dot{z}_i = \mu_i, \\ z_i(0) = 0 \end{cases} \qquad (i=1,2) \qquad (2)$$

である．ただし，ドット $(\cdot) \equiv \dfrac{d}{dt}$ である．さらに，選択できる μ_i の値には限界があるものとし，それを $\mu_i \in [0, B]$ で表す．ここで B は正の定数である．いま，競争は期間 $[0, T]$ で行なわれるので，$z_i(t) \in [0, TB]$ $(t \in [0, T])$ となる．

一方，この知識の増加率 μ_i を獲得するためには資金 $c_i(\mu_i)$ の投資が必要であるとする．そして，ここでは簡単化のため，これを，

$$c_i(\mu_i) = \frac{1}{2}\mu_i^2 \qquad (i = 1, 2) \tag{3}$$

であると仮定する．(3)は上の仮定でのべた研究開発の知識の量と投資額の関係を規定する．

ところで，ゲームを構成するためには，プレイヤーの戦略をより厳密に定義しなくてはならない．具体的には，時間 t における各企業の知識の蓄積が $z(t) = (z_1(t), z_2(t))$ で与えられたとき，これに対応する各企業の戦略を $z(t)$ の関数として定義しなくてはならない．そこで，企業 i の戦略を $u_i(t, z(t))$ で表わす．そして，時間 t における企業 i 知識の増加率 $\mu_i(t)$ は，

$$\mu_i(t) = u_i(t, z(t)) \qquad (i = 1, 2)$$

で決定されるものとする．すなわち，時間 t において企業 i が知識増加率 $\mu_i(t)$ を選択するということは，$z(t)$ に対し $\mu_i(t)$ を指定する関数 $u_i(t, z(t))$ を戦略として採用するということである．そして，企業 i の戦略 $u_i(t, z(t))$ の集合を U_i で表す[2)]．

3.2　3つのゲーム・モデル

前節では，モデルの骨子について説明したが，Reinganum [1981] は基本的に

2) ここでのゲームは微分ゲームとして構成される．このとき，解の存在とその一意性について，数学的には，関数 $u_i(t, z)(\in [0, B])$ には，(t, z) に関する連続性および z に関するリプリッツ連続性が要求される．したがって，U_i 集合はこれらの条件を満足する関数の集まりであり，さらに知識の増加率 $\mu_i(t)$ は t について連続でなくてはならない．

3つのゲームを含んでいる．ここでは，これら3つのゲームをそれぞれマクロ経済モデルに応用する．そして，それぞれのゲームの解を分析し，さらに，これらと秋本[2002] の解の比較分析を行なう．考察されるゲームは以下のゲームである．

（Ⅰ）非協力ゲーム

（Ⅱ）協力ゲーム（特許ビジネス組織が存在するゲーム；このゲームは社会的計画者の問題として応用できる）

（Ⅲ）研究開発に関する知識が公共財（public goods）となるゲーム

なお，解を導出する数学的な分析については，秋本[2001]（pp.45-49）に示すので，これを参照されたい．

（Ⅰ）非協力ゲーム

図2において，特許ビジネス組織が存在せず，協力の余地のないケースを考えよう．知識の蓄積 $z_i(t)$ に対応する成功確率は(1)で与えられている．このとき，時間 t までに企業群 i が研究開発に成功しなかったとき，時間区間 $(t, t+dt]$ において企業群 i が研究開発に成功する確率は，

$$P\{\tau_i \in (t, t+dt] \mid \tau_i > t\} = \lambda\mu_i(t)dt + o(dt), \quad (t \in [0, T]; i = 1, 2) \quad (4)$$

と計算される．いま，時間 t までに企業群2が研究開発に成功しない確率は，$P(\tau_2 > \mathrm{t}) = e^{-\lambda z_2(t)}$ であるので，企業群1が時間 t において研究開発に成功し，家計（プレイヤー1）がゲームの勝利者となって，利得 V を獲得する確率は，

$$e^{-\lambda z_2(t)} e^{-\lambda z_1(t)} \lambda\mu_1 = e^{-\lambda(z_1(t) + z_2(t))} \lambda\mu_1$$

となる．一方，時間 t までに家計が $\mathrm{c}_1(\mu_1)$ を投資し続けなくてはならない確率は，

$$P(\tau_1 > t)P(\tau_2 > t) = e^{-\lambda(z_1(t) + z_2(t))}$$

である．したがって，家計の利得関数 $J^1(u_1, u_2)$ は，

$$J^1(u_1, u_2) = \int_0^T \left[V e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))} \lambda \mu_1(t) - e^{-rt} e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))} \frac{1}{2} (\mu_1(t))^2 \right] dt \quad (5)$$

となる．ただし，rは正の定数で，時間に関する割引率を表す．すなわち，家計は期待収入と期待投資額の差を最大化しようとするものとする．間接的意思決定者の利得関数$J^2(u_1, u_2)$も同様に定義すればよい．

以上，各プレイヤー企業の利得関数を与えたが，いまわれわれは非協力ゲームを考えているので，ゲームの解を構成する各プレイヤーの戦略の組(u_1^*, u_2^*)は次の条件を満足しなくてはならない．

$$\begin{aligned} &(\mathrm{i})\ u_i^* \in U_i, \quad (i=1, 2), \\ &(\mathrm{ii})\ J^1(u_1^*, u_2^*) \geq J^1(u_1, u_2^*), \qquad \forall u_1 \in U_1, \\ &(\mathrm{iii})\ J^2(u_1^*, u_2^*) \geq J^2(u_1^*, u_2), \qquad \forall u_2 \in U_2. \end{aligned} \quad (6)$$

(i)，(ii)，(iii)を満足する戦略の組(u_1^*, u_2^*)はナッシュ均衡解とよばれる．

（Ⅱ）協力ゲーム
（特許ビジネス組織が存在するゲーム；社会的計画者の問題に応用可能）

研究開発は，蓄積された知識に関する情報の流通が重要な役割を果たす．特に，研究開発により自らの存在を維持しよとするベンチャー企業の実状および膨大な研究開発費用に直面し情報を外部に求めようとする大企業の動向等をみると，研究開発に関する情報の共有を可能とする組織の存在は経済発展を考える上で不可欠となる．そこで，ここでは図2に示したように，情報を仲介する特許ビジネス組織を考える．

本稿のゲーム設定では，ライバル企業群が先んじて研究開発に成功すれば，当該企業群に投資したプレイヤー（すなわち，家計あるいは間接的意思決定者）は収入Vを獲得することができないのであるから，特許ビジネス組織が存在するような状況は，研究開発投資に関し情報を提供し合うという動機を生み出す．す

なわち，各企業群が共有する知識により研究開発に成功したならば，各企業群はその恩恵をうけ，各プレイヤーは株価の上昇や配当の増加などで利得を確保するであろう．以下，この点に焦点を当て，協力ゲームを構成しよう[3)]．

いま，時間 t において，企業群 j は保有する知識のうち $\gamma\,(\in(0,\ 1])$ の割合の知識を特許ビジネス組織を通して企業群 $i(\neq j)$ に提供するものと仮定する．そして，特許ビジネス組織が仲介する各企業群のこの連携を各プレイヤーは認識しているものとする．このとき，企業群 i の知識は，

$$\dot{z}_i = u_i(t,z) + \gamma u_j(t,z),\quad z_i(0)=0, \qquad (i,j=1,2;\ i\neq j) \tag{7}$$

と表される．

一方，２つの企業群による研究開発が成功する時間を確率変数 τ で表せば，(1) より，時間 t までに成功する確率は，

$$P(\tau \leq t) = 1 - e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))}$$

となるので，２つの企業群の利得関数は，$J^{12}(u_1, u_2)$

$$\begin{aligned}J^{12}(u_1,u_2) &= \int_0^T \left[Ve^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))}\lambda(\mu_1(t)+\mu_2(t))\right]dt \\ &\qquad -\int_0^T e^{-rt}e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))}\frac{1}{2}(\mu_1(t)+\mu_2(t))^2dt \\ &= V(1-e^{-\lambda(z_1(T)+z_2(T))}) - \int_0^T e^{-rt}e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))}\frac{1}{2}(\mu_1(t)+\mu_2(t))^2dt\end{aligned} \tag{8}$$

となる．したがって，２人のプレイヤーの問題は，

---

3) 協力ゲームが成立するその他のケースとして，１つの企業が複数の市場（本稿のモデルでは新興市場と大規模市場）へ株式を上場する場合を考えることができる．この場合は，各プレイヤーが当該企業に投資した場合，同じ研究開発に投資することになる．このとき，各プレイヤーがこのことを認識していれば $\gamma=1$ となる．もちろん，このケースでは特許ビジネス組織の仲介は必要ない．

$$\max_{u_1, u_2} J^{12}(u_1, u_2) \tag{9}$$

s.t. (7)

となる.

ところで，2つの企業群が完全な支援関係を形成しており，$\gamma = 1$という状況を作り出しているならば，2つの企業群はこの研究開発に関しては1つの研究組織として行動することになる．そして，この問題は2つの制御変数を持つ1つの研究組織の問題となる．このとき，モデルの状況に関する解釈を変えれば，この問題は2つの研究開発グループを持つ1人の社会的計画者の問題として定義し直すことができる．この場合は，(8)において，特許に関わる収入Vを社会的効用Qに置き換えればよい.

（Ⅲ）研究開発に関する知識が公共財となる場合

研究開発により生み出され，蓄積された知識は企業独自の言わば極秘情報である．協力ゲームでは，各企業は自らの生き残りをかけ，これらの情報をライバル企業と共有するという戦略をとる．しかし，非協力ゲームの状況下で実行されるさまざまな研究開発において，蓄積された知識が何らかの状況の中で他企業に認知され，この部分がいわゆる公共の知識となることが多い．知識を蓄積してきた企業からすれば，意図せざる知識の漏洩となる.

このような情報の漏洩は，たとえば製品自身によりもたらされるかもしれない．すなわち，各企業はライバル企業の製品を徹底的に研究し，製品の中にどのような新技術が含まれているかを分析するであろう．あるいは，研究開発努力を保護するための特許制度そのものが漏洩の原因となることもあろう．すなわち，ある新技術や新製品の特許を申請した場合，日本の場合は，審査のために申請された新技術や新製品をある期間公開しなくてはならない．そのために，これらの新技

術や新製品に関する情報が漏洩する可能性がある．そこで，非協力ゲームの枠組みで，このような状況について分析しよう．

いま，企業群 j の時間 t における戦略 $u_j(t)$ のうち，企業群 i に漏洩する知識の割合を定数 $\rho(\in(0, 1])$ で表す．このとき，企業群 i の知識 $z_i(t)$ を決定する方程式は，

$$\dot{z}_i = u_i(t, z) + \rho u_j(t, z),\ \ z_i(0) = 0, \qquad (i, j = 1, 2;\ i \neq j) \tag{10}$$

となる．ただし，ここでは Reinganum [1981] にしたがい，$\rho = 1$ すなわち蓄積された知識がすべて漏洩し公共の知識となる場合を考える．

もち論，ゲーム自体は非協力ゲームで構成される．各企業群は，ライバル企業群の戦略を認識しつつ，自らの利得を最大化しようとする．したがって，ゲームの解はナッシュ均衡解となるが，$\rho = 1$ という状況のもとでは，知識がすべて2つの企業群にとり公共の知識となるため，企業群 i の利得関数 $J^i(u_1, u_2)$ は，

$$\begin{aligned} J^i(u_1, u_2) &= \int_0^T \left[Ve^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))} \lambda(\mu_1(t) + \mu_2(t)) \right] / 2dt \\ &\qquad - \int_0^T e^{-rt} e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))} \frac{1}{2} (\mu_i(t))^2 dt \\ &= \frac{V}{2} (1 - \mathrm{e}^{-\lambda(z_1(T)+z_2(T))}) - \int_0^T e^{-rt} e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))} \frac{1}{2} (\mu_i(t))^2 dt,\ \ (i = 1, 2) \end{aligned} \tag{11}$$

となる．そして，問題の解はナッシュ均衡解を定義する(6)で与えられる．

4．解の分析

以上，Reinganum [1981] をマクロ経済に応用したゲーム・モデルを構成した．次に，これら3つのゲームに対する解を提示し，その分析と比較を行なう．なお，解を導出する数学的な分析については秋本[2001]（pp.45-49）を参照されたい．

4.1 ゲームの解[4)]

非協力ゲーム(6)の解

非協力ゲームの解 $u_i^*(t, z)$ すなわち企業群 i の知識の増加率 $\dot{z}_i^*(t, z)$ は,

$$\dot{z}_i^*(t, z) = u_i^*(t, z) = \frac{2V\lambda e^{rt}}{3-\exp\{m(t)\}} \qquad (i=1,2) \tag{12}$$

となる．ただし，$m(t) = V\lambda^2(e^{rt} - e^{rT})/r$ である．また，$B \geq V\lambda e^{rT}$ とする．この条件は $u_i^*(t, z) \in [0, B]$ を示す．

協力ゲーム(9)の解

協力ゲームの解 $u_i^{**}(t, z;\gamma)$ は,

$$u_i^{**}(t, z;\gamma) = \frac{(1+\gamma)V\lambda e^{rt}}{1-(1+\gamma)^2 m(t)} \qquad (i=1,2) \tag{13}$$

となる．ただし，この戦略に対応する企業群 i の知識の増加率 $\dot{z}_i^{**}(t, z;\gamma)$ は，(7)より,

$$\dot{z}_i^{**}(t, z;\gamma) = \frac{(1+\gamma)^2 V\lambda e^{rt}}{1-(1+\gamma)^2 m(t)} \tag{14}$$

で与えられる．ただし，$B \geq (1+\gamma)V\lambda e^{rT}$ とする．この条件は $u_i^{**}(t, z;\gamma) \in [0, B]$ を示す．

また，(9)を社会的計画者の問題と解釈する場合は，V の代りに社会的効用 Q を用いればよい．すなわち，その解 $u_i^s(t, z;\gamma=1)$ は,

$$u_i^s(t, z;\gamma=1) = \frac{2Q\lambda e^{rt}}{1-4Q\lambda^2(e^{rt}-e^{rT})/r}, \qquad (i=1,2) \tag{15}$$

と表せる．もち論，このときの社会の知識の増加率 $\dot{z}_{12}{}^s(t, z;\gamma=1)$ は，(7)より,

4) 秋本[2001]（pp.45-49）で述べたように，われわれは内部解のみに着目して考察を行う．

$$\dot{z}_{12}{}^{s}(t, z\,;\gamma=1)=\frac{4Q\lambda e^{rt}}{1-4Q\lambda^{2}(e^{rt}-e^{rT})/r} \tag{16}$$

となる．ただし，$B\geq 2Q\lambda e^{rT}$ とする．この条件は $u_i^s(t, z\,;\gamma=1)\in[0, B]$ を示す．

知識が公共財となる場合の解

この場合の解 $u_i^{***}(t, z\,;\rho=1)$ は,

$$u_i^{***}(t, z\,;\rho=1)=\frac{V\lambda e^{rt}}{1-3m(t)}, \qquad (i=1,2) \tag{17}$$

となる．ただし，企業群 i の知識の増加率 $\dot{z}_i^{***}(t, z\,;\rho=1)$ は，(10)より

$$\dot{z}_i^{***}(t, z\,;\rho=1)=\frac{2V\lambda e^{rt}}{1-3m(t)}, \qquad (i=1,2) \tag{18}$$

となる．ただし，$B\geq V\lambda e^{rT}$ とする．この条件は $u_i^{***}(t, z\,;\rho=1)\in[0, B]$ を示す．

4.2　解の比較分析

次にこれらの解に関する分析を行おう．まず，非協力ゲームの解と協力ゲームの解について次の命題を得る．

命題1

(i) 任意の $t(<T)$ に対し，$u_i^*(t, z) > u_i^{**}(t, z\,;\gamma=0)$ が成立する．また，$u_i^*(T, z)=u_i^{**}(T, z\,;\gamma=0)$ となる．さらに，$\dot{z}_i^*(t, z)$と $\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma=0)$ についても同様の関係が成立する．

(ii) $\dfrac{\partial}{\partial\gamma}\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma)>0$．すなわち，協力ゲームにおいて，知識の共有率 γ が大きくなれば，各企業群の知識の増加率は大きくなる．

(iii) $\gamma>0$ のとき，γ が小さい値をとれば $\dot{z}_i^*(t, z)$と $\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma)$ のグラフは

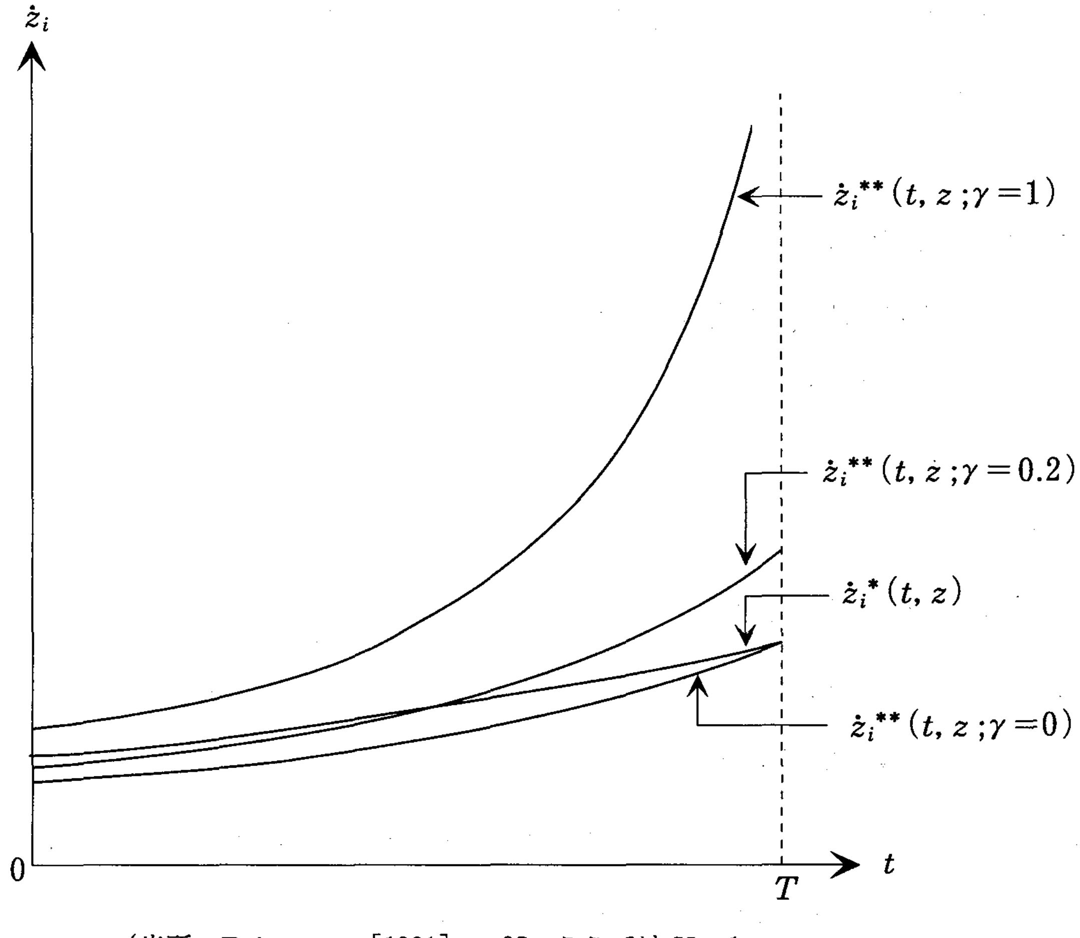
$t(\in(0, T))$ で交わる．

(iv) $\gamma>0$ のとき，γ がとる値により，$\dot{z}_i^*(t, z)<\dot{z}_i^{**}(t, z; \gamma)$ $(t\in(0, T))$ となることがある．

(証明) 秋本[2001] pp.37-38 を参照せよ． **(証了)**

命題1の結論を図3にまとめる．非協力ゲームにおける知識の増加率は $\gamma=0$ のときの協力ゲームのそれよりも大きいことがわかる．このときは，非協力ゲームの研究開発の成功期待時間は協力ゲームのそれよりも早くなる．ただし，$\gamma=0$ は各企業群の間の知識の交換が無い状態である．

図3　知識の増加率



(出所；Reinganum [1981]，p.35：ここでは $V=1$，$\lambda=0.2$，$\gamma=0.02$，$T=20$ としてグラフを作成)

一方，パラメーターの値が増加し始めると，$\dot{z}_i^*(t, z)$ と $\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma)$ のグラフは $t(\in(0, T))$ で必ず交わる．なぜなら，命題1(i)より，$\dot{z}_i^*(T, z)=\dot{z}_i^{**}(T, z\,;\gamma=0)$ であり，$t=T$ において両者のグラフは一致する．さらに，(ii)より γ の値が増加し始めると，$\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma)$ のグラフは上方にシフトする．したがって，$\gamma\,(>0)$ の小さい値に対し，両者のグラフは交点をもつ．このときは，ゲームの初期において非協力ゲームの知識の増加率は協力ゲームのそれを上回るが，ゲームの終盤ではこの関係は逆転する．ただし，この場合，非協力ゲームと協力ゲームの間における成功期待時間の長短の判定ついては，各パラメータの値に対し逐次成功期待時間を計算し，その上でこれを判定しなくてはならない．

パラメーター γ の値がさらに大きくなると，図3に示すように，$\dot{z}_i^*(t, z)<\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma)\,(t\in(0, T))$ となることもある．このときは，協力ゲームの成功期待時間は非協力ゲームのそれよりも短くなる．

さらに，協力ゲームの均衡利得 $J^{12}(u_1, u_2)$ については次の命題を得る．

命題2　$\dfrac{\partial}{\partial\gamma}J^{12}>0.$

(証明) Reinganum [1981] p.33 あるいは秋本[2001] p.48 を参照せよ．

(証了)

すなわち，協力の度合いが深まれば，協力ゲームの均衡利得は上昇する．

次に，協力ゲームを応用して得られた社会計画者の知識増加率(16)と知識が公共財となる場合の知識増加率(18)について考察しよう．これに関しては次の命題を得る．

命題3　$Q>\dfrac{V}{2}$ ならば，$\dot{z}_{12}{}^{s}(t, z\,;\gamma=1)>\dot{z}_i^{***}(t, z\,;\rho=1)\,(t\in(0, T))$ となる．

すなわち，研究開発の成功にともなう報酬 V が，社会的効用の2倍 $(2Q)$ よりも小さければ，$\rho=1$ のときのナッシュ均衡解による知識の増加率は社会的に効率

な知識の増加率より小さい．

（**証明**）秋本[2001] p.39を参照せよ．（**証了**）

さらにこの命題より，協力ゲームにおける知識増加率(14)と知識が公共財となる場合の知識増加率(18)に関する次の命題を得る．

命題4　$\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma=1) > \dot{z}_i^{***}(t, z\,;\rho=1)\,(t\in(0, T))$ が成立する．すなわち，知識がすべて公共財となる場合の知識増加率は協力が完全な場合の知識の増加率より小さい．

（**証明**）命題3の証明において，QをVに置き換えればよい．そして，$V>V/2$であることに注意すればよい．（**証了**）

命題3および命題4で得られた結果を図4に示す．図4では，$V=1(V/2=0.5)$および$Q=0.8$あるいは$Q=1.5$として$\dot{z}_i^{***}(t, z\,;\rho=1)$，$\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma=1)$，$\dot{z}_{12}{}^{s}(t, z\,;\gamma=1)$のグラフを描いている．また，$\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma=1)$と$\dot{z}_{12}{}^{s}(t, z\,;\gamma=1)$の大小関係は$V$と$Q$の大小関係に依存する．そこで，$V$と$Q$の関係を図5に示す．命題3において許される領域は領域AとB領域である．もち論，直線$Q=V$上でもよい．そして，領域Aでは$V>Q$であり，このときは，(14)と(16)より，

$$\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma=1) > \dot{z}_{12}{}^{s}(t, z\,;\gamma=1),\ (t\in[0, T];\ i=1, 2)$$

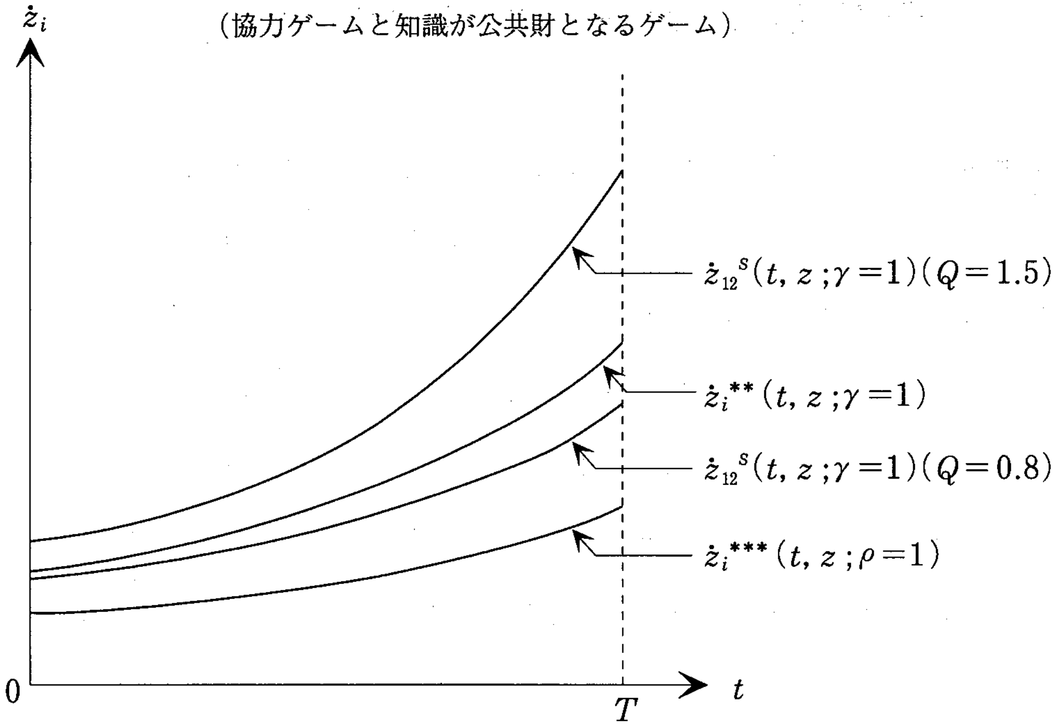
となり，領域Bすなわち$V\leq Q$ならば，

$$\dot{z}_i^{**}(t, z\,;\gamma=1) \leq \dot{z}_{12}{}^{s}(t, z\,;\gamma=1),\ (t\in[0, T];\ i=1, 2)$$

となることがわかる．図4では，$V>Q$のケースを$V=1$，$Q=0.8$として，$V\leq Q$のケースを$V=1$，$Q=1.5$として作図する．

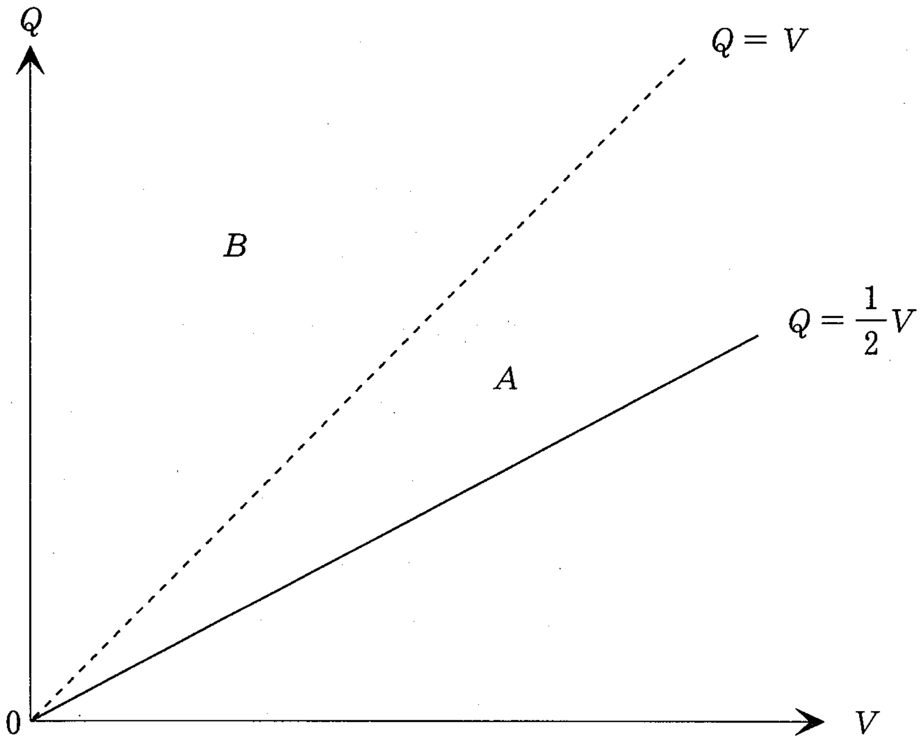
図4　知識の増加率

（協力ゲームと知識が公共財となるゲーム）



（$V=1$, $\lambda=0.1$, $\gamma=0.02$, $T=1$）

図5　研究開発による収益と社会的効用



5． 研究開発促進のためのマクロ経済分析

5.1 解のマクロ経済学的解釈；シュムペーター仮説の再検討

以上，3つのゲームの解について分析したが，ここで得られた命題のマクロ経済的視点からの含意は重要である．

命題1および図3から考察しよう．まず，非協力ゲームにおける知識の増加率は$\gamma=0$のときの協力ゲームのそれよりも大きいことがわかる．このときは，非協力ゲームの研究開発の成功期待時間は協力ゲームのそれよりも早くなる．ただし，$\gamma=0$は各企業群の間の知識の交換が無い状態である．一方，パラメーターγの値が増加し始めると，$\gamma(>0)$の小さい値に対し，ゲームの初期において非協力ゲームの知識の増加率は協力ゲームのそれを上回るが，ゲームの終盤ではこの関係が逆転する．そして，パラメーターγの値がさらに大きくなると，図3に示すように，協力ゲームの知識の増加率は非協力ゲームのそれよりも大きくなることがある．

このように，パラメーターγの値により非協力ゲームと協力ゲームの解の相互関係は変化する．そして，それに対応して協力を推進すべき研究開発分野と非協力が望ましい分野が判定される．いずれの事態が発生するのかは，研究開発の構造すなわち不確実性の度合いおよび費用構造に依存しているのであるが，協力ゲームの場合，協力の度合いが深まれば，各企業群の研究開発の知識の増加率は大きくなり，しかも，協力ゲームの知識の増加率が非協力ゲームのそれよりも大きくなることがあるという分析結果は，競争に加え協調を可能にする構造がマクロ経済に要求されていることを示唆する．ただし，ここで注意したい点は，競争あるいは協調が，たとえばReinganum [1981] で分析されたような企業間の競争や協調ではなく，マクロ経済における競争あるいは協調であるという点である．そ

して，議論をこのように進めていくと，関心は再びモデルの基礎であるマクロ経済構造に集中する．

そこで，図2に示したマクロ経済構造に再び注目しよう．マクロ経済には複数の資産市場が存在し，しかもそれらが競合している．ただし，この競合は資産市場だけでなく，企業群および家計と間接的意思決定者を含めて設定されていなくてはならない．すなわち，プレイヤー・資産市場・企業群が1つのセットとなっている．(しかも，その背後には図1で示したようなGDPの還流すなわち所得分配の問題があり，さらにはこの点をめぐる家計と間接的意思決定者の対立が存在する点も注意されたい.）このような状況のもとで，企業群を主体として形成される競争や協力の情報が資産市場を通じてプレイヤー（すなわち，家計と間接意思決定者）に伝達される．特に，プレイヤーは投資家である家計あるいは間接的意思決定者であるので，研究開発の構造に関する情報すなわち不確実性の度合いおよび費用構造に関する情報に加え，ある分野では協力が，またある分野では非協力が望ましいという情報を伝達するシステムが必要となる．したがって，競争あるいは協調が選択され，それが実行されるマクロ経済システムを考える場合，特許ビジネス組織を仲介とする企業群間の情報伝達システムに加え，資産市場経由のプレイヤー・企業群間の情報伝達が必要となる．Reinganum のマクロ経済モデルはこのような情報伝達を含んでいるおり，マクロ経済における情報伝達システムの重要性を示唆している．

次に，協力ゲームを応用した社会的計画者の問題において，社会的効用 Q が意味するところを確認しよう．この問題は研究開発の社会的評価と深く関係する．たとえば，ナノテクノロジーの分野において研究開発された新技術は，素材の開発等を通じて医療機器や情報通信などに応用されている．すなわち，この分野の1つの技術開発はさまざまな分野に応用され，1つの技術のみの評価では捉えきれない社会的効用を生み出している．さらに，自動車における省エネルギー車の

開発は，エネルギーの節約のみならず，二酸化炭素の排出規制に象徴される環境問題に関連し，多大な社会的効用を生み出す．すなわち，1つの研究開発の背後には，直接的な市場だけでなく，間接的な市場で発生する消費者効用，環境的要因などが存在すると考えなくてはならない．研究開発がもたらす社会的効用の意義はこのような観点で捉えることができる．そして，これをどのように測定するのかも大きな課題であると言える．

Reinganum のマクロ経済モデルを以上のような視点から眺めた場合，研究開発と企業規模に関するシュムペーター仮説すなわち大企業ほど研究開発に寄与しているという単純な仮説ではマクロ経済的に研究開発投資を分析することはできないことがわかる．すなわち，企業規模の議論のみで研究開発を分析するのは不十分であり，さらに，研究開発の構造に関する分析を加えたとしてもマクロ経済学的には満足すべき分析的視野を形成できない．Reinganum のマクロ経済モデルは情報伝達システムを支柱とする総合的なマクロ経済構造の重要性を示している．以下，指摘される要素をまとめよう．

1. 複数の競合する資産市場が形成されているかどうか．
2. これらの資産市場に参加する家計を含めたプレイヤーが育成されているか．
3. 企業群と企業群を結ぶ情報の仲介組織が形成されているか．
4. 企業群の研究開発に関する情報がプレイヤー（すなわち，家計および間接的意志決定者）に伝達されるシステムが存在するか．
5. 企業群の協力あるいは非協力の判断形成をプレイヤーに伝達するシステムが存在するか．
6. 4および5に関し，情報開示のルールが確立しているかどうか．
7. 社会的効用が適切に定義され，その測定システムは構築されているどうか．
8. 社会的効用の評価およびその情報開示に関するルールが確立されているかどうか．

以上，Reinganumのマクロ経済モデルをめぐり，その構造に関する分析を行った．研究開発の構造が急速に変化している中で，マクロ経済構造も変革を要求されていると言える．

5.2 Reinganum[1981] と秋本[2002] の比較分析

以上のような議論を通し，「研究開発を促進するマクロ経済構造は何か」という命題を考察するのが本稿の課題であった．そのために，Reinganum[1981] をマクロ経済に応用し，3つの経済ゲームを構成して，研究開発投資に関する分析を行ったのであるが，分析の過程において示された解は共通する1つの特徴を持っている．それは，図3および図4に示すように，いずれの場合においても研究開発の知識の増加率を表す関数が時間の増加関数となっている点である．すなわち，研究開発投資は計画終了時間に向かって増加する．ただし，このような戦略は，図1の構図のもとで構成された秋本[2002]，[2003a] および [2003b] における投資家の戦略とは相容れない．すなわち，秋本[2002]，[2003a] および [2003b] では，最適化問題の要請により，計画終了時間における研究開発投資（あるいは知識）の限界価値はゼロとなることが要求されるために，計画終了時間において研究開発投資はゼロとなる．より正確には，計画終了時間にいたるある一定の期間において研究開発投資はゼロとなる．

Reinganum[1981]を応用したマクロ経済モデルと秋本[2002]との間でなぜこのような相違が発生するのか．以下，この点を考察しよう．

5.2.1 Reinganumモデルのbequest関数の特徴

まず，考察の手がかりとなるのはReinganum[1981] のbequest関数の特徴である．非協力ゲームにおけるプレイヤーの利得関数は(5)で与えられているが，これに部分積分を実行すると，

$$J^1(u_1, u_2) = \int_0^T \left\{ V(1-e^{-\lambda z_1(t)})e^{-\lambda z_2(t)} \lambda \mu_2(t) - e^{-rt} e^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))} \frac{1}{2}(\mu_1(t))^2 \right\} dt$$
$$+ V(1-e^{-\lambda z_1(T)})\, e^{-\lambda z_2(T)} \qquad (19)$$

を得る．(19)の右辺の最後の項 $V(1-e^{-\lambda z_1(T)})\,e^{-\lambda z_2(T)}$ は bequest 関数を形成する．さらに，協力ゲームおよび知識が公共財となるゲームの利得関数（すなわち，(8)および(11)）における bequest 関数はそれぞれ $V(1-e^{-\lambda(z_1(T)+z_2(T))})$ および $\frac{V}{2}(1-e^{-\lambda(z_1(T)+z_2(T))})$ である．これらはいずれも計画終了時間 T における各プレイヤーの期待利得である．たとえば，非協力ゲームにおける bequest 関数 $V(1-e^{-\lambda z_1(T)})\,e^{-\lambda z_2(T)}$ を考えると，$(1-e^{-\lambda z_1(T)})\,e^{-\lambda z_2(T)}$ は時間 T までにプレイヤー 1 が成功を収め，プレイヤー 2 が成功しない確率を表す．(8)および(11)の bequest 関数も同様に解釈すればよい．

この bequest 関数のあり方が Reinganum モデルの特徴を表している．たとえば，通常の最適化問題は，

$$\max_u \to J = \int_0^T f(t, x, u)\,dt + B(T, x(T)) \qquad (※)$$
$$\text{s.t.} \quad \dot{x} = g(t, x, u)$$

のような形式で定義される．ここで，x は状態変数を，u はコントロール変数を表す．もちろん，bequest 関数は $B(T, x(T))$ である．ところが，Reinganum の bequest 関数は，たとえば協力ゲームの場合は(8)に示すように

$$\int_0^T \left[Ve^{-\lambda(z_1(t)+z_2(t))} \lambda(\mu_1(t)+\mu_2(t)) \right] dt$$
$$= V(1-e^{-\lambda(z_1(T)+z_2(T))})$$

と計算される．すなわち，利得関数の積分の部分が計算されて，それがそのまま bequest 関数を形成している．知識が公共財となる場合の利得関数(11)の bequest 関数も同様に導出されている．さらに，非協力ゲームの利得関数(19)にお

いてもこのような事態は同様に発生している．ただ，この場合は，部分積分を実行した結果，時間 t に相手プレイヤーが成功を収めるが，それに先んじて当該プレイヤーが成功する確率が積分の中に配置されている．いずれにしても，Reinganum のモデルは，利得関数の積分を計算した結果を bequest 関数として用いている．

Reinganum モデルのもう１つの特徴は利得 V の設定にある．すなわち，各プレイヤーは研究開発が成功した場合，一定の利得 V を獲得するのであるが，この利得 V の値は状態方程式を形成する変数 z_i には無関係であり，利得 V は完全な外生変数として定義されている．その結果，利得 V は利得関数を形成する積分の対象からはずれる．そして，そのために状態変数 z_i の利得関数への関与は特殊な構造を持つことになる．すなわち，状態変数 z_i は利得 V にはまったく関係なく，利得関数の確率部分に関与しているだけである．そのために，最適化問題（※）におけるように，状態方程式が問題の１つの制約式を形成するという構造は存在しない．状態方程式は一方的に利得関数の確率部分のみに影響を与えているだけである．

5.2.2 Reinganum のマクロ経済モデルと秋本[2002] が示唆するもの

このようなモデルの構造上の特徴をどのように解釈するか．そして，そこで得られた結果をマクロ経済学の視野からどのように評価するか．この点に関する考察は重要である．

まず，Reinganum のマクロ経済モデルは図１で示されたような循環図を前提にしたものではなく，図１の一部分すなわちマネーが資産市場を通過する部分を切り取って，この部分に関してモデルを構成したものであり，その結果，利得 V を外生変数として定義できたとも解釈されよう．しかし，ここではこのような解釈はとらず，Reinganum のマクロ経済モデルを積極的に眺めて，計画終了時間

において研究開発投資がゼロとならない構造に焦点を当てたい．

Reinganum のマクロ経済モデルにおいて計画終了時間に研究開発投資がゼロにならないのは明らかに bequest 関数が存在しているからである．たとえば，非協力ゲームにおけるプレイヤー i の評価関数を $W^i(\tau, \xi)$ で表すと，横断条件より，評価関数 $W^i(\tau, \xi)$ は時間 T において $W^i(\tau, \xi)=$ bequest 関数すなわち

$$W^i(T, z(T)) = V(e^{-\lambda z_j(T)} - e^{-\lambda(z_1(T)+z_2(T))}) \ (>0)$$

を満足しなくてはならない[5]．bequest 関数が存在するために時間 T における評価関数は正の値を持つのである．その結果，プレイヤー i は $z_i(T)=0$ ではなく，図 3 に示したような戦略を選択する．そして，5.2.1 節でも述べたように，bequest 関数が存在する理由は利得関数における利得 V と状態方程式の関係にあるのであるから，この関係をマクロ経済の視点から考察する必要が発生する．

そこで，この点を分析するために，秋本[2002]，[2003a] および [2003b] をもう一度振り返ろう．いま，たとえば秋本[2002] における投資家の問題を示せば，

$$\max_{u_2} \int_0^T (1-u_1) y dt \qquad (※※)$$
$$\text{s.t. } dy = \alpha(1-u_1)(1-u_2) y dt + l\theta dq$$

となる[6]．ただし，状態変数は GDPy であり，$u_i(i=1,2)$ はプレイヤーのコントロール変数である．また，q はポアッソン過程にしたがう確率変数で，期間 $[t, t+\Delta t)$ においてジャンプする確率は，

$$dq = \begin{cases} 1 & (\text{確率}；\lambda(1-u_1)u_2 y \Delta t) \\ 0 & (\text{確率}；1-\lambda(1-u_1)u_2 y \Delta t) \end{cases}$$

である．

---

5) 秋本[2001] p.46 を参照せよ．
6) 秋本[2002] p.8 を参照せよ．

問題（※※）は，Reinganumのモデルに対し，次のような構造上の相違点を持つ．

(1) 問題（※※）はReinganumのモデルのように外生変数（利得 V）を含んでいない．そして，利得は状態変数を積分して計算される．

(2) 問題（※※）は状態方程式の右辺に状態変数を含み，さらにこの右辺において不確実性が記述されているが，Reinganumの状態方程式の右辺はコントロール変数のみで構成されている．

そして，このような相違点を経済学的視点から眺めると，問題（※※）では状態変数 y がコントロールを受けながら図1で示された経済を循環しているのに対し，Reinganumのモデルでは，利得 V はもちろんのこと状態変数 z_i もこの循環からはずれており，この点が両者の相違点を形成していることがわかる．

マクロ経済において研究開発を促進しよとする場合，bequest関数が形成される経済構造が問題となるのであるが，両者の相違点より，経済構造に関する次のような仮説を設定することができよう．

仮説　マクロ経済において研究開発を促進するためには次のような経済構造が必要である．

(1) 秋本[2002]，[2003a]および[2003b]のように，研究開発の不確実性が経済を循環しないマクロ経済構造が必要である．

(2) そのためには，秋本[2002]，[2003a]および[2003b]のように，マクロ経済における研究開発投資の評価をGDPの増加のみで行わないことが必要である．すなわち，研究開発投資の成果を表わすGDP以外のマクロ経済変数とそのような変数が存在しうる経済構造が必要である．

(3) さらに，研究開発投資を分権的意思決定過程（すなわち，秋本[2002]，[2003a]および[2003b]において示したような家計と投資家の分権的意思決定過程）から離脱させる．

(4) そのためには，図2に示したように，競合する複数の資産市場を生成する必要がある．そして，研究開発投資の成果（Reinganum モデルでは V で表示されていた）を，図1の分権的意思決定過程を通さずにプレイヤー（すなわち家計あるいは間接的意思決定者）に分配するマクロ経済システムが必要である．

以上，経済構造に関する仮説について述べたが，ここでは bequest 関数が存在する構造が問題となっているのであるから，上の仮説に加え外生的に bequest 関数を生み出す状況も考えなくてはならない．たとえば，すでに多くの場所で議論されているように，政策的には次のような点が指摘されよう．

・研究開発投資促進税制を設定する．すなわち，計画終了時間までに一定の研究開発投資を実行した場合，この投資に関する特別減税制度を設定する．もちろん，この場合この特別減税額が時間 T における bequest 関数を生成する．

・市場から評価されるような GDP 以外の経済指標を作成する．この評価が bequest 関数を生成する．

6．むすび

本稿では，Reinganum [1981] のマクロ経済への応用をめぐって議論を行ってきたが，もともと Reinganum [1981] が寡占市場における企業の研究開発投資をめぐるモデルであることを考えると，寡占市場における多くのゲーム・モデルに関し，マクロ経済分析への応用の可能性が存在すると予想される．

たとえば，本稿のモデルでは図2に示すように，2つの資産市場を持つマクロ経済モデルを構成したが，実際の経済にはさらに多くの資産市場が存在している．しかも，これらの市場は上場する企業の実態に対応してその存在意義を持ってい

る．そして，現実的にも複数の資産市場が存在するのであるから，モデルを構成する上においても，規模，事業内容，事業目的等においてそれぞれの企業が資金調達できる適当な資産市場が存在していると考えた方が適切であろう．

議論をこのように進めてくると，たとえば資産市場の個数を視野に入れたマクロ経済分析が必要となろう．これらの点を含め，研究開発投資に関する業績のマクロ経済への応用が期待される．この点については稿を改めて分析する．

〔参考文献〕

秋本耕二[2001]，『技術革新と経済構造』，九州大学出版会．

秋本耕二[2002]，「研究開発投資期間の長さに関するマクロ経済分析（Ⅰ)」，『産業経済研究』第43巻第３号，久留米大学産業経済研究会，pp.1-45.

秋本耕二[2003a]※，「研究開発投資期間の長さに関するマクロ経済分析（Ⅱ)」，『現代経済学研究』第11号，西日本理論経済学会編，勁草書房．(予定)

秋本耕二[2003b]，「研究開発投資期間の長さに関するマクロ経済分析（Ⅲ)」，『産業経済研究』第44巻第３号，久留米大学産業経済研究会，pp.1-28.

Friedman, A.[1971], *Differential Games*, Wiley, New York.

Kamien, M.I, and N.L. Schwartz[1981], *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*, North-Holland, New York Amsterdam Oxford.

Lancaster, K.(1973), "The Dynamic Inefficiency of Capitalism," *Journal of Political Economy*, Vol.81, pp.1092-1109.

Lee, T. and L.L. Wilde[1980], "Market Structure and Innovation; a reformulation," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.94, pp.429-436.

Loury, G.C.[1979], "Market Structure and Innovation," *Quarterly Journal of Economics*, Vol.93, pp.395-410.

Mehlman, A.[1988], Applied Differential Games, Plenum Press, New York London.

Pohjola, M.(1985), "Applications of Dynamic Game Theory to Macroeconomics," in *Dynamic Games and Applications in Economics*, Bazar, T.(ed.), Springer-Verlag.

Reinganum, J.F.[1981], "Dynamic Games of Innovation," *Journal of Economic Theory*, Vol.25, pp.21-41

※ 当論文は，『現代経済学研究』(西日本理論経済学会編）に投稿中の論文であり，現在審査を受けている段階である．なお，2003年は投稿年を示す．

Reinganum, J.F.[1985], "Innovation and Industrial Evolution," Quarterly Journal of Economics, pp.81-99.

Rishel, R.W.[1990], "Controlled Continuous Time Markov Processes," in *Stochastic Models*, D.P. Heyman and M.J. Sobel (eds.), North-Holland.

Schumpeter, J.A.[1934], *The Theory of Economic Development*, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.（塩野谷祐一，中山伊知郎，東畑精一 訳『経済発展の理論』上・下，岩波書店，1977.）

Schumpeter, J.A.[1954], *Capitalism, Socialism and Democracy*, fourth edition, London, George Allen & Unwin :first edition New York, Harper & Row, 1942.（中山伊知郎，東畑精一 訳『資本主義・社会主義・民主主義』上・中・下，東洋経済新報社，1962.）